蟲生真菌在作物害蟲防治之應用

蕭文鳳[1] 侯豐男[2]
[1]國立嘉義技術學院植物保護系
[2]國立中興大學昆蟲學系

前言

自 1940 年有機氯殺蟲劑發明後，予人類農業生產及病媒防治上帶來許多的利益，但二十年後產生許多的副作用。正如卡爾遜女士在「寂靜的春天」中所描述，會傷害鳥類及其它脊椎動物或無脊椎生物，迫使我們不得不需去思考其使用的後果。化學農藥可迅速的殺死害蟲，但大量廣泛使用後會產生殘毒、引發昆蟲產生抗藥性、吸附在土壤或滲入地下水引起污染、對非標的生物也有間接的殺害作用，如何減少化學農藥用量則勢在必行。

利用細菌、真菌、病毒、線蟲及原生動物或它們所分泌的毒素及經過基因工程改造的產品來防治害蟲的方法稱為微生物防治。其基本考量就是利用〝以物剋物〞的原理，也因為這些致病因子（Causal agents）是來自於大自然，故對環境的傷害比起人類合成的化學藥劑小，加之它們易受到非生物因子如紫外線、溫濕度等的影響而喪失功能或壽命，故其殘毒問題不似化學農藥需一段長時間才分解，因而引起人類的疑慮，故我們將微生物致病因子視之為對〝環境友善〞的防治因子。-而蟲生真菌具以下之優點: (1)容易以培養基大量生產; (2)成本低; (3)施用容易; (4)尚無害蟲對蟲生真菌產生抗性的報導。以下則來介紹各種蟲生真菌病原。

蟲生真菌簡史

昆蟲罹病的記錄首見於秦漢（221BC—220AD）之「神農本草經」中記錄「白殭味鹼」，明　李時珍的「本草綱目」（1857）也有冬蟲夏草、蟬茸、殭菌可入藥的記載。

昆蟲病理之父 Bassi (1835)證明白殭菌可使家蠶得病。俄國 Metchnikoff (1879) 自麗金蠅 (*Anisoplia austriaca*) 中分離出 *Entomophthora anisopliae*。 Sorkin (1883)將屬名改為 *Metarhizium*

且訂名爲黑殭菌（*Metarhizium anispliae*）。Forbes(1887)在麥長椿象（*Blissus leucopterus*）罹病蟲體分離出白殭菌（*Beauveria bassiana*）。

Zimmermann 氏 (1898) 在爪哇的咖啡介殼蟲 (*Saissetia coffeae(*Walker))上首先分離到此菌，當時命名爲 *Cephalosporium lecanii* (Petch 1926)，後來 Balazy (1973)就其特徵而改爲 *Cephalosporium lecanii*，近年來則多採用 *Verticillium lecanii* (Hall 1981)了。這是早期文獻中描述真菌與昆蟲相關性的文獻 (Tanada 1961)。1960 年代後國內外則研究蟲生真菌的學者日多，本文則不再此處描述。

重要蟲生真菌種類介紹

蟲生病原真菌大約 100 多屬上千種，可分爲鞭毛亞門、結合菌亞門、子囊菌亞門，擔子菌亞門和不完全菌亞門。但只有少數的蟲霉目和線菌綱的種類研究的比較深入。

鞭毛亞門只有瓶菌綱及卵菌綱的種類，以感染雙翅目爲多，其中大鏈壺菌（*Lagenidium giganteum*）已有商品在美國登記上市(高、蔡 1995)。

接合菌亞門中蟲霉科屬於結合菌亞門蟲霉目（Entomophthorales），蟲霉科的寄主包括許多鱗翅目，鞘翅目、同翅目和❥類。因許多蟲霉科的種類爲絕對寄生需活體才能產生孢子，因而影響其量產。然而 *Zoophthora radicans* 之孢子卻可於培養基上生產，已被考慮作爲蟲生真菌殺蟲劑之用。

子囊菌亞門：包括了球子囊菌目有白　幼蟲病菌能引起蜜蜂及切葉蜂的白　病。本門亦包括蟲草屬，全世界有 400 多種，如冬蟲夏草、蟬花、蛹蟲草和大團囊草可做中藥之用。

擔子菌亞門：包括和介殼蟲有關的隔擔子菌屬，具開發的潛力。

不完全菌亞門：許多已被用來防治害蟲之種類都在此亞門。如腔菌綱球狀子器菌目的 *Aschersonia aleyrodis* 僅感染粉蝨和軟介殼蟲。*Hirsutella thompsonii* 防治柑橘銹❍相當成功。

蟲生真菌在昆蟲棲群中是以風土病或流行病之型式存在,而實際上被利用真菌作爲生物製劑者,只有少數不完全菌綱種類,常見的有線菌綱鏈孢霉目的白殭菌(*Beauveria bassiana*)、黑殭菌(*Metarhizium anisopliae*)、綠殭菌(*Nomurae rileyi*)等。黑殭菌之寄主有 300 種包括鱗翅目、鞘翅目、直翅目、膜翅目、雙翅目、等翅目和同翅目。

可在土壤深度 25-30 cm 處分離(Milner et al. 1997)。白殭菌寄主有 15 目 149 科昆蟲及蟎類等,超過 700 種之寄主之記錄包括鱗翅目、鞘翅目、直翅目、膜翅目、革翅目、同翅目、雙翅目、等翅目和半翅目等。可在土壤深度 20-25 cm 處分離(Milner et al. 1997)。綠殭菌（*Nomurea*）及擬青霉菌(*Paceliomyces)*屬中有些種類會感染重要的土壤害蟲、鱗翅目及一些粉蝨。擬青霉菌可在土壤深度 25-30 cm 處分離 (Milner et al. 1997)。綠殭菌能自然發生於許多鱗翅目害蟲上,寄生於 30 多種鱗翅目害蟲,特別對夜蛾科害蟲的致病力更強,常引發流行病。蠟蚧輪枝孢屬（*Verticillium lecanii*）有十分廣闊的地理分布，寄主範圍廣，有彈尾目，半翅目，雙翅目，膜翅目，鱗翅目、同翅目及鞘翅目等昆蟲。其主要的寄主爲蚜蟲常引起溫室蚜蟲、粉蝨、介殼蟲的流行病。近年來也試圖用於防治薊馬(*Frankliniella occidentalis*) (Skinner 1991; Schreiter *et al.* 1994) 及蝗蟲(*Melanoplus sanguinipes*、*Melanoplus bivittaus*)(Harper and Huang 1986; Johnson *et al.* 1988)。另也會感染❥蜱及銹病 (Leatherdale 1970；Barson 1976)。

蟲生真菌感染過程

真菌感染(mycosis）始於感染源如孢子或分生孢子接觸了具感受性的寄主。陸生真菌的孢子，全靠風或其他力量的帶動遷移方能接觸寄主。接觸之後第一步是真菌孢子附著寄主表皮並吸收空氣中或昆蟲表皮上的濕氣來發芽。具感受性之寄主表皮的物理和化學性質可能影響孢子的附著和是否能成功的發芽與否，此與真菌病原之專一性高低有所關連。黏液分泌物和附著器（appressorium）之出現會影響真菌孢子附著之程度。至於寄主體壁之穿透則是藉諸穿透菌絲（發芽管）之物理壓力及蛋白質分解酵素和其他酵素對昆蟲表皮組成之分解。對真菌的穿透而言，真菌品系間感染力都有所差異的原因可能與其是否能順利穿透昆蟲表皮有關，會受幾丁質分解酵素量的不同而影響。在某些情況下，真菌也可經消化道（口腔、咽喉和腸道）穿透而進入昆蟲體內發揮作用。

不完全菌綱的種類，只要一進入血腔，就會很快地繁殖和殺死寄主。在寄主死亡後，其生長改爲腐生，其菌絲體會再穿透昆蟲身體，並在屍體上萌芽形成菌絲，在適當的濕度下，產生無性孢子。藉由昆蟲的移動作主動散播，但最常見的是被動地經由風和水傳播（Hajek and St. Leger 1994）。

侵入過程可能遇到之障礙以黑殭菌爲例:有(A)誘發障礙(Induced

barriers)： (1)附著(Attachment), (2)黑化作用(Melanization)。(B)表現障礙(Performed barriers)：(1) 表皮結構(Surface structure：Hydrophobic barriers, low RH, Electrostatic Charges, low nutrient levels, microbial flora 等)：(1) Toxic lipids and phenols, (2) Tannedproteins，這些都可能會影響到真菌的侵入進而影響致病力(Hajek and Leger 1994)。

影響蟲生真菌之因子

一、非生物因子

(一)溫度

蕭及林(1995)以 YPDA 爲培養基在不同溫度下培養白殭菌(HO 212),結果顯示菌落生長最適溫是 25℃,5℃爲休眠溫度,35℃則菌絲停止生長。溫度會影響致病能力,取 10^7 孢子/毫升之濃度,以噴藥塔方式施於僞菜蚜上,在溫度 25℃、30℃、35℃及 40℃下,對照組不論測試溫度爲何僞菜蚜死亡之個體其體表皆無菌絲形成。在 25℃下,處理組死亡率達 100%,且體表皆出現菌絲。30℃時,處理組死亡率爲 100%,菌絲形成率僅爲 57%。在 35%時,對照組死亡率爲 75%,僅 22%出現菌絲。對照組及處理組在 40℃下,於處理 12 小時後僞菜蚜皆出現行動遲緩的現象,且 24 小時後全部死亡,也無菌絲產生,故得知溫度會影響白殭菌對僞菜蚜的菌絲形成,因高溫效應,白殭菌無致死效果,故將來田間施用時,宜避免於高溫時使用。

黑殭菌 MA-805 菌絲塊以 SMA+Y 培養,在移入 15℃、20℃、25℃、30℃及 35℃下，於第 5 天及第 10 天量菌落直徑大小,第 10 天並計算產孢數及秤菌絲乾重。結果顯示黑殭菌 MA-805 菌絲生長之最適溫度爲 25℃,其次爲 20℃,但 15℃及 30℃生長欠佳,則 35℃以上停止生長。菌落直徑大小和菌絲乾重成正相關。產孢方面以 20℃時爲最佳,其次爲 15℃和 25℃,而 30℃以上產胞減少,35℃以上完全不產孢。菌絲生長和產胞並不完全成正比,可能當溫度改變或環境不適於生長時,會促進真菌產孢(李、侯,1989)。

綠殭菌 35508 品系以 SMA+Y 培養,結果顯示其菌絲生長與產孢適溫均在 28℃,在此溫度下 24 小時孢子發芽率即達 92% (高等,1998)。

(二)濕度

將噴過白殭菌懸浮液及無菌水之僞菜蚜放入乾燥箱,箱內濕度依序爲 100%,76%,32%,置於 25℃定溫箱中(12L:12D),於接種後,每隔 24 小時觀察僞菜蚜之死亡數及菌絲形成率。結果顯示濕度 100%下僞菜蚜罹病率爲 71%,濕度 76%下僞菜蚜罹病率爲 84%,在濕度 32%下僞菜蚜罹病率爲 94%。處理組濕度 100%,76%,32%則菌絲形成率依序爲 71%,84%及 94%。由此可知,濕度會影響孢子發芽, 濕度 100%時會產生凝結之水滴,會降低白殭菌之致病力,當空氣中過於潮濕,如下雨或颱風前皆不宜使用白殭菌作防治(蕭等,1997)。

已接種黑殭菌 MA-805 的斑飛蝨在 RH 50%、70%、85%、90%、95%及 100%,經一週後調查其感染率。結果顯示在 25℃下,當 RH 95%以上才會達到高的感染率,RH 85%感染率僅 10%,RH50% 以下則不會感染致病(李、侯,1989)。黑殭菌在相對濕度 96% 以下會延遲發芽，86% 時會降低對白蟻的致死率(Milner *et. al.* 1997)

唐(1997)以 10、15、20 及 25% 含水量之土壤接種 $1x10^7$ conidia/ml 濃度之綠殭菌感染四齡甜菜夜蛾幼蟲,幼蟲死亡率以含水量 20%土壤爲 96.67%;含水量 25%土壤最低爲 25%,含水量 15%及 10%兩組無顯著差異。半致死時間以含水量 20%之土壤最短爲 5.4 天,含水量 15%及 10%半致死時間皆爲 6.0 天,顯示土壤含水量亦會影響蟲生真菌之致病力(唐,1997)。

Johnson *et al.* (1988)在室內以 *V. lecanii* 接種蝗蟲可出現 85 - 99% 之死亡率，但在田間施用的效果不彰。 Helyer *et al.* (1992)指出相對溼度 95% 以上的環境下，以 15 種不同之分離株對粉蝨進行生物檢定，LT_{50} 由 5.7 天至 9 天以上，LC_{50} 由 1.3×10^5 至 4.2×10^7 conidia/ml 但是即使經過 96 小時之潛伏期，若將已接種之粉蝨由相對溼度 95% 移到 70%後，死亡率有降低的現象。Meade and Byrne (1991) 接種 *V. lecanii* 的煙草粉蝨及溫室粉蝨(*Trialeurodes vaporariorum*) 培養在 21°C , 89 - 95%RH, 光週期 12L : 12D 的環境下，7 天後煙草粉蝨死亡率可達 96%，溫室粉蝨死亡率爲 95.6% ，但皆無法感染此二種粉蝨的卵。

(三)酸鹼值

取 YPDA 培養基培養白殭菌,其 pH 調整爲 4、7、10 後,在不同觀察時間內,發現這幾種 pH 值對白殭菌生長並沒有顯

著的影響(蕭及林,1996)。

將黑殭菌 MA-805 的孢子懸浮液在調成酸鹼值為 5 - 9,然後分別接種至斑飛蝨蟲體上,在 25℃ 飼養,進行 10 天的感染率調查。結果顯示 pH7 之黑殭菌 MA-805 的孢子懸浮液感染率最高,其次是 pH6 及 pH8,而 pH5 及 pH9 的感染率較差;故中性的孢子懸浮液最適於黑殭菌 MA-805 的感染(李、侯,1989)。

(四)紫外線

白殭菌孢子在陽光下迅速被殺死，且在太陽下蟲體的表皮溫度會上升，因而降低致病力，若遮蔭的狀況下，白殭菌的生長及其對蝗蟲的致病顯著高於在完全曝曬下(Inglis *et al.* 1997)。

二、生物因子

(一)真菌濃度

以綠殭菌孢子懸浮液接種於甜菜夜蛾各齡幼蟲,在 25℃ 下,由一至五齡其半致死濃度(LC_{50})分別為 $1.34x10^6$、$1.47x10^5$、$4.97x10^5$、$3.56x10^4$ 及 $3.1x10^5$ conidia/ml。此表示蟲體越小,對綠殭菌感受性越高(唐,1997) 。

(二)蟲齡

以濃度 10^5 conidia/ml 之綠殭菌孢子懸浮液處理五齡甜菜夜蛾時,幼蟲即使快速進入化蛹階段,但出現高前蛹期之死亡,若接種濃度為 10^7conidia/ml,則可造成前蛹期 53.33% 死亡率及蛹期 23.33% 死亡率;表示濃度越低,幼蟲死亡率較高,可是後續前蛹期及蛹期死亡率較低,但高濃度時,幼蟲死亡率低,而後續前蛹期及蛹期死亡率較高(唐,1997)。

(三)作物種類

茄科植物含的蕃茄素(生物鹼)會抑制白殭菌的菌落形成及生長(Costa and Gaugler 1989a) 及其對科羅拉多甲蟲的感病力(Costa and Gaugler 1989b; Hare and Andreadis 1983)。

害蟲防治之應用實例

甘藷蟻象鑽入甘藷塊根危害,造成經濟上之損失,本省農民則完全依賴化學藥劑進行防治,蘇（1987）以白殭菌防治甘藷蟻象試驗,分別於甘藷種植及塊根形成時,各噴施含 $1.6x10^4$ conidia/ml 之孢子懸浮液,或於種植甘藷時, 於畦底撒下含白殭菌(約 10^9conidia/g)之大

豆 300g、或在種植甘藷時，畦底撒下 2.5% 陶斯本 90g、種植甘藷時，畦底撒下 3% 好年冬 80g 及對照組。結果顯示(1)噴施白殭菌孢子懸浮液,甘藷受害率 32.8%。(2)撒含白殭菌之大豆，甘藷受害率 27.8%。(3)撒 2.5% 陶斯本，甘藷受害率 34.3%。(4)撒 3% 好年冬，甘藷受害率 30.8%。(5)對照組，甘藷受害率 43.5%。以上結果顯示用含有白殭菌之大豆及噴施白殭菌孢子懸浮液之甘藷受害率較低,其防治效果勝於化學藥劑之防治，這是在本省以蟲生真菌進行小規模田間試驗的結果(蘇,1991)。

Vandenberg *et al.* (1998)試圖以白殭菌 ARSEF 4543 及 Mycotech GHA 處理二齡之小菜蛾幼蟲，其 LD_{50} 爲 518 spore/cm^2 及 614 spores/cm^2。就齡期而言，2x10^{7}spore/cm^2 的濃度下，ARSEF 4543 對二、三、四齡的幼蟲致死率依序爲 53、86、72。Mycotech GHA 對二、三、四齡的幼蟲致死率依序爲 74、83、100(Vandenberg *et al.* 1998)。在二齡初期及二齡末處理其死亡率爲 58%及 10%，在二齡初期及二齡末處理其死亡率爲 58%及 10%，可能是末期幼蟲處理後馬上就脫皮而把一些孢子也隨退皮而脫去之故。在溫室實驗中，在 21°C 下於相對濕度 60%時存活蟲數爲 4.2，相對濕度 90%時爲 2.0，在 26°C 下於相對濕度 60%時存活蟲數爲 4.3，相對濕度 90%時爲 4.3 (Vandenberg *et al.* 1998b)。溫度會影響二齡小菜蛾對白殭菌的感病力，在 15、20、25、30 及 35°C 下，其死亡率爲 18、52、72、56 及 19%。而產孢率爲 14、51、65、34 及 17% (Vandenberg 1998a)。由上述結果可推知白殭菌具有防治小菜蛾的潛力，未來在小菜蛾的綜合防治上多一個選擇。

蟲生真菌商品

至今註冊上市的商品多種，表列如下：

表一. 顯示目前已註冊登記之白殭菌與黑殭菌殺蟲劑*

成份	商品名	公司或國家	對象害蟲
Beauveria bassiana 白殭菌	Boverin	Glavmikrobioprom	科羅拉多甲蟲、舞蛾、松毛蟲、歐洲玉米螟
	Boverol	Czechoslovakia	科羅拉多甲蟲
	Boverosil	Czechoslovakia	科羅拉多甲蟲
	—	Mainaland China	鱗翅目幼蟲，甲蟲幼蟲，蝗蟲等
	Naturalis-L	Fermone Co. Inc.	粉蝨、象鼻蟲 葉蚤
Metarhizium anisopliae 黑殭菌	Mataquino	CODECAP	吹沫蟲
	Bio-path	Ecoscience	蜚蠊
Verticillium lecanii	Vertalec	Koppert	蚜蟲、粉蝨及介殼蟲

*利用真菌作爲蟲害防治劑有許多潛力的方法,但截自目前爲止,只有少數不完全菌種類被廣泛使用或做商業化之生產,所以目前真菌殺蟲劑尙未大眾化。

農藥對蟲生真菌之影響

有關農藥對蟲生真菌的影響，在 Olmert and Kennth(1974)及 Johnson *et al*. (1976)的報告中均指出最早由 Rolfsh and Fawcett 於 1908 年發現噴灑波爾多液對柑桔介殼蟲之蟲生真菌有抑制作用。一般而言，在培養基上殺菌劑的抑制作用大於殺蟲劑和殺草劑，不同種類之殺蟲劑、殺菌劑和殺草劑對蟲生真菌之抑制情形差異頗大(蘇 1988;蔡等 1991)。

Hall (1981)以殺蟲劑測試其對蟲生真菌的效應，發現夏油與 Diencchlor 幾乎沒有抑制作用，但是 Quinomethionate 即使將推薦濃度稀釋 10 倍，仍能完全抑制孢子的萌發。另外 Olmert and Kennth (1974)測試結果指出 9 種供試殺菌劑在推薦濃度下，以 benomyl 及 bazeb 影響最大，可以百分之百抑制菌絲生長，而 copper oxychloride 對其中一個分離株僅有 15.5% 的抑制作用，而 benonyl 以推薦濃度再稀釋 100 倍仍有 100% 的抑制作用。Hall(1981)的研究結果發現各殺蟲劑、殺菌劑對孢子發芽及菌絲生長抑制程度並不一致，如殺菌劑中之 chlorothalonii 及 fenarimol 等僅抑制孢子發芽，但不影響菌絲生長。殺蟲劑中 pirimicarb，在 10 倍推薦濃度處理時 *V.*

lecanii 孢子仍有 98% 的發芽率，而菌絲生長則完全受抑制。

真菌對藥劑之感受性反應，依特性之不同可分爲忍受蕭和林(1995)以 8 種不同濃度之殺菌劑測試白殭菌，結果顯示只有布瑞莫平板上有白殭菌生長，其他 7 種殺菌劑可分爲 2 種作用模式，依普同、多保鏈黴菌、銅滅達樂爲靜菌作用，而鋅乃浦、甲基鋅乃浦、依滅列及鋅錳滅達樂爲殺菌作用。耐性 (tolerance)及抗性(resistance)，前者常爲一種生理適應，對藥劑之不敏感性會隨著壓力之消失而恢復成爲感性，後者則是在基因上發生變化，其抗藥性極爲穩定(蔡 1991)。

重要森林害蟲的微生物防治

在 1960 年代末期松毛蟲(Dendrolimus punctatus)大量發生，林試所應之璘先生以 Israria,蘇力菌，質多角病毒，測試對於松毛蟲的防治效果。當初引進的質多角體 Dendrolimus spectabilis 質多角體來防治此蟲，可造成 90%的死亡率。

松斑天牛（*Monchamus alternatus*）會媒介松材線蟲（*Bursaphelenchus xylosphilus*)。使被害松樹之針葉在短期內變黃，再逐漸轉爲赤褐，最後全株萎凋死亡，本省自民國 74 年在台北縣石門鄉發現琉球松被害後已逐漸蔓延到中南部，造成很大的危害。

日本學者將白殭菌培養在不織布上，待菌長滿不知不後，再置於林地亦可利用小囊重圍媒介，將白殭菌帶入樹幹防治松斑天牛。另外 Shimuzu *et. al*.（1992）將白殭菌以麥片粒（Wheat-bran pellet）培養在埋入被蟲感染的松樹，則木材松斑天牛死亡率可達 13-81%之間；樹木則松斑天牛死亡率爲 43-45%

Shimazu 和 Kushida(1980)用直接噴灑危害的木材有 75%的死亡率，散在日本各省採此法施用效果不一。其他方法有在松斑天牛來羽化前先施於被害樹幹來感染成蟲，也有噴在健株的樹冠，當成蟲接近來取食枝條時可受到感染。以上種種方法，但效果不一。在日本 Akita 省 1995-1996 在海岸區，利用一種改良的大量釋放的設計來釋放，粘附白殭菌孢子的囊蟲 *Cryphalus fulvus* 的體表，在 1995 年死亡率 1.3%，釋放後死亡率 11.5%。結果顯示樹幹中的死亡率比上層及下層高（Kinuura. *et al*. 1999），皆可供我們參考。

展望

蟲生真菌自被學者記載並提出研究後已有 150 多年,但應用成功的例子並不多,其對相對溼度的要求甚高，可能在不同作物上,許多栽植的田間環境條件不同,而有不同的結果產生,蟲生真菌雖已有不少基礎研究的結果,但實際田間應用仍有一段距離，許多問題尚待解決,如:

一、研究方面：(1)適合各種害蟲防治的品系之篩選;(2)蟲生真菌對相對濕度極敏感,所以施用時需最適的萌芽濕度; (3)大量生產的方法; (4)調製安定性高且病原不受環境因子影響之製劑。

二、田間所遭遇之問題： (1)蟲生真菌持續性及感染受溫濕度影響大,因而限制真菌殺蟲劑之田間使用 (2)需改進殺蟲速度及速率。以上問題如能解決,則蟲生真菌可成為具潛力之生物防治因子。

參考文獻

李平全、侯豐男 1989. 影響黑殭菌對斑飛蝨致病力之因子。 植保會刊 31:1-9。

李平全、侯豐男 1989. 黑殭菌培養及大量生產之研究。 植保會刊 31:10-20。

蒲蜇龍、李增智 1992 昆蟲真菌學 安徽科學技術出版社出版 715pp。

高穗生、蔡勇勝 1995 蟲生病原在蟲害防治上之利用(上) 藥試所專題報導 38 期， 12 頁。

高穗生、蔡勇勝、楊芃 、王伯徹、華傑 1998 臺灣常見蟲生病原真菌實用圖鑑 129pp 食品工業研究所。

唐立正 1997 本地產綠殭菌感染玉米穗夜蛾之研究。 中興大學昆蟲系博士論文。 147 頁。

蘇智勇 1988. 數種農藥對白殭菌之影響。 中華昆蟲 8:157-160。

高清文、蔡勇勝 1989. 利用蟲生真菌防治甜菜夜蛾。 重要蔬菜害蟲綜合防治研討會專刊 p214-222。

蘇智勇 1991. 白殭菌防治甘藷蟻象。 中華昆蟲 11:162-168。

蔡勇勝、侯豐男、高穗生、高清文 1994. 常用蔥田殺菌劑對黑殭菌感染甜菜夜蛾之影響。 植保會刊 36:239-246。

蕭文鳳、林悅強 1995. 白殭菌對蔬菜田常用殺菌劑感受性之探討。 中華昆蟲 15:295-304。

蕭文鳳、林悅強　1995.　白殭菌對僞菜蚜致病性初探。　嘉義農專學報 44:101-116。

蕭文鳳、莊凱順、鄭峰銘　1997.　溫濕度和十字花科植物與白殭菌對僞菜蚜毒力之影響。　嘉義農專學報 52:101-108。

Barson, G. 1976. Laboratory studies on the fungus *Verticillium lecanii*, a larval pathogen of the elm bark beetle. Ann. App. Biol. 88:207-214.

Costa, S. D. and R. Gaugler. 1989a. Sensitivity of *Beauveria bassiana* to Solanine and tomatine: plant defensive chemicals inhibit an insect pathogen. J. Chem. Ecol. 15:697-707.

Costa, S. D. and R. Gaugler. 1989b. Influence of Solanum host plants on Colorado potato beetle (Coleoptera:Chrysomelidae) susceptibility to the entomopathogen *Beauveria bassiana*. Environ. Entomol. 18:531-536.

Hajek,A.,and R. St. Leger. 1994. Interactions between fungal pathogens and insect host. Ann. Rev. Ent. 39:293-322.

Hare, J. D. and T. G. Andreadis. 1983. Variation in the susceptibility of *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera:Chrysomelidae) when reared on different host plants to the fungal pathogen, *Beauveria bassiana* in the field and laboratory. Environ. Entomol. 12:1892-1897.

Heyler, N., G. Gill, A. Bywater and R. Chambers. 1992. Elevated humidities for control of chrysanthemum pest with *Verticillium lecanii*. Pesticide Sci. 36:373-378.

Inglis, G. D., D. J. Johnson and M. S. Goettel. 1997. Effects of temperature and sunlight on mycosis (*Beauveria bassiana*)(Hyphomycetes:Sympodulosporae) of grasshoppers under field conditions. Environ. Entomol. 26:400-409.

Jaworska, M. and D. Ropek. 1998. Fungi nematodes interactions against *Sitona lineatus*. Insect pathogens and Insect parasitic nematodes. IOBC Bull. 21:113-116.

Johnson, D. W., L. P. Hish and G. E. Allen. 1976. Field evaluation of selected pesticides on the natural development of the entomopathogenic fungi, *Nomuraea rileyi* on the velvetbean caterpillar in soybean. Environ. Entomol. 5:964-966.

Kinura, H., E. Ohya, H. Makihara, A. Nagaki and H. Fujioka. 1999.

Infection rate of *Monochamus alteratus* (Coleoptera:Cerambycidae) by an entomopathogenous fungus through mass-release of vector beetles *Cryphalis fulvus* (Coleoptera:Scolytidae) using an improved application device. J. Jpn. For. Sco. 81:17-21.

Leatherdale, D. 1970. The arthropod hosts of entomopathogenus fungi in Britain. Entomophaga 15:419-435.

Meade, D. I. and N. D. Byrne. 1991. The use of *Verticillium lecanii* ahainst subimaginal instars of *Bemisia tabai*. J. Invert. Pathol. 57:296-298.

Milner, R. J., J. A. Staples and G. G. Lutton. 1997. Effect of humidity on germination and infection of termites by the Hyphomycete, *Metarhizium anisopliae*. J. Invert. Pathol. 69:64-69.

Olmert, I. and R. G. Kenneth. 1974. Sensitivity of the entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana*, *Verticillium lecanii*, and *Verticillium* sp. to fungicides and insecticides. Environ. Entomol. 3:33-38.

Shelton, A. M., J. D. Vandenberg, M. Romos and W. T. Wilsey. 1998. Efficacy and persistence of *Beauveria bassiana* and other fungi for control diamondback moth (Lepidoptera:Plutellidae) on cabbage seedlings. J. Ent. Sci. 33:142-151.

Shimazu, M. and T. Kushida. 1980. Microbial control of *Monochamus alternatus* treatment of pathogens on the infected pine trees. Trans. 32nd Meeting, Kanto Branch. Jan. For. Soc. 93-94.

Shimazu, M., T. Kushida, D. Tsuchiya and W. Mitsuhashi. 1992. Microbical control of *Monochamus alternatus* (Coleoptera:Cerambycidae) by implanting wheat-bran pellets with *Beauveria bassiana* in infested trunks. J. Jpn. For. Soc. 74:325-330.

Shmazu, M., D. Tsuchiya, H. Sato and T. Kushida. 1995. Microbial control of *Monochamus alternatus* (Coleoptera:Cerembycidae) by applciation of nonwoven fabric strips with *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina:Hyphomycetes) on infested tree trunks. Appl. Entomol. Zool. 30:207-213.

Smart,C.D. and D. W. Fulbright. 1996. Molecular biology of fungal diseases. In:Molecular biololgy of the biological control of pests

and diseases of plants. (Gunasekaran,M. and D.J.Webers eds.). 219pp. CRC Press,Boca Raton, FL. U.S.A.

Tanada, Y. 1961. Microbial pesticides. In: Pest control. 31-88. Kilgore, W. W. and R. L. Doutt eds. 477pp

Vandenberg, J. D., A. M. Shelton, W. T. Wilsey and M. Ramos. 1998a. Assessment of *Beauveria bassiana* sprays for control of Diamondback moth (Lepidoptera:Plutellidae) on crucifers. J.Econ. Entomol. 91:624-630.

Vandenberg, J. D. , M. Romos and J. A. Altre. 1998b. Dose-response and age-and temperature-related susceptibility of the Diamondback moth (Lepidoptera:Plutellidae) to two isolates of Beauveria bassiana)Hyphomycetes:Moniliaceae). Environ. Entomol. 27:1017-1021.

Ying, S. L. 1970. Application of *Isaria* sp., cytoplasmic polyhedrosis virus and *Bacillus thuringiensis* against pine caterpillars *Dendrolimus punctatus* (Lepidoptera:Lasiocampidae). Quart. J. Chinese Forestry 4:51-68.